

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/003334

International filing date: 30 March 2005 (30.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 015 590.9
Filing date: 30 March 2004 (30.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 27 April 2005 (27.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



EP0513334

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 015 590.9

Anmeldetag: 30. März 2004

Anmelder/Inhaber: YXLON International Security GmbH,
22419 Hamburg/DE

Bezeichnung: Anodenmodul für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle sowie Röntgenstrahler mit einem Anodenmodul

IPC: H 01 J 35/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. April 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Siegels

Anodenmodul für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle sowie
Röntgenstrahler mit einem Anodenmodul

Die Erfindung befasst sich mit einem Anodenmodul für eine
5 Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle, die im Fokusbereich ein
Elektroneneintrittsfenster aufweist. Darüber hinaus befasst
sich die Erfindung mit einem Röntgenstrahler mit einem
solchen Anodenmodul.

10 Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen werden seit kurzer Zeit
Flüssigmetallanoden verwendet. Diese Technologie wird LIMAX
(Liquid Metal Anode X-Ray) genannt. Bei der Erzeugung von
Röntgenstrahlen wird die Flüssigmetallanode mit einem
Elektronenstrahl beschossen. Dadurch erwärmt sich die
15 Flüssigmetallanode – wie jede feste Anode – erheblich. Die
entstehende Wärme muss aus dem Fokusbereich abgeführt werden,
damit sich die Anode nicht überhitzt. Dies erfolgt in
Flüssigmetallanoden mittels turbulenten Massentransports,
Konvektions-, Leitungs- und Elektronendiffusionsvorgängen. Im
20 Fokusbereich, in dem die Elektronen auf die
Flüssigmetallanode auftreffen, weist das Leitungssystem der
Flüssigmetallanode ein Elektronenfenster auf. Dies besteht
aus einer dünnen Metallfolie, die so dünn ist, dass die
Elektronen in ihr nur einen geringen Teil ihrer
Bewegungsenergie verlieren. Die Ausbeute an Röntgenstrahlung
unter 90° zum einfallenden Elektronenstrahl ist jedoch nicht
sehr hoch.

30 Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Anodenmodul für
eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle sowie einen
Röntgenstrahler vorzustellen, bei der eine höhere Ausbeute an
Röntgenstrahlung erreicht wird.

35 Die Aufgabe wird durch ein Anodenmodul für eine
Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle mit den Merkmalen des
Patentanspruchs 1 gelöst. Da die durch die Wechselwirkung der
auf die Flüssigmetallanode auftreffenden Elektronen mit

dieser erzeugte Röntgenstrahlung nicht isotrop ist, sondern in Flugrichtung der Elektronen ausgerichtet ist, ist es vorteilhaft, die in Vorwärtsrichtung des Elektronenstrahls erzeugte Röntgenstrahlung aus der Flüssigmetallanode zu 5 verwenden. Der Winkel zum einfallenden Elektronenstrahl, unter dem ein Maximum an Röntgenstrahlung emittiert wird, hängt insbesondere von der Energie der einfallenden Elektronen ab. Je relativistischer die Elektronen sind – also das Verhältnis zwischen Elektronenenergie E_0 und Ruhemasse des 10 Elektrons von 511 keV gegen 1 strebt –, desto signifikanter wird diese Anisotropie. Erfindungsgemäß wird die Ausbeute an Röntgenstrahlung dadurch erhöht, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster nicht unter 90° zum einfallenden Elektronenstrahl angeordnet ist sondern unter 15 einem geringen Winkel – dem Austrittswinkel der Röntgenstrahlung – also in Vorwärtsrichtung. Der optimale Winkel hängt dabei stark von der Elektronenenergie ab, wobei er bei einer Elektronenenergie $E_0 = 500$ keV 15° beträgt.

20 Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenaustrittsfenster eine Metallfolie, insbesondere aus Wolfram, mit einer Dicke von 5 bis 30 μm , insbesondere von 15 μm , ist. Bei einer solchen Dicke erfolgt nur ein sehr geringer Verlust der Elektronenenergie im Elektroneneintrittsfenster. Bei einer Dicke von 15 μm sind dies nur 5 % der Elektronenenergie. Hinsichtlich der Dicke des Elektroneneintrittsfensters muss jedoch ein Kompromiss aufgrund dessen mechanischer Stabilität eingegangen werden. Ein zu dünnes Elektroneneintrittsfenster würde den 30 mechanischen Gegebenheiten innerhalb des Anodenmoduls, insbesondere dem Flüssigkeitsdruck und dem auftretenden Scherkräften, nicht mehr gerecht und instabil werden oder sogar zerspringen. Das Elektroneneintrittsfenster kann zur Erfüllung der vorgenannten Erfordernisse auch als ein 35 Diamantfilm, ein keramischen Werkstoff oder ein Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, ausgebildet sein.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster ein Stahlblech mit einer Dicke von 100 bis 400 μm , insbesondere von 250 μm , ist. Da im Röntgenstrahlenaustrittsfenster eine

5 Wechselwirkung mit den austretenden Röntgenstrahlen erfolgt, darf dieses nicht zu dick sein. Die optimale Dicke hängt davon ab, welcher Schwächungsgrad akzeptabel ist und welche mittlere Energie der Röntgenstrahlung erhalten werden soll. Darüber hinaus setzt auch die mechanische Stabilität des
10 Röntgenstrahlenaustrittsfensters eine untere Grenze für deren Dicke.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Anodenmodul im Fokusbereich eine Dicke in

15 Richtung des einfallenden Elektronenstrahls von 100 bis 350 μm , insbesondere von 200 μm , hat. Aufgrund der Eindringtiefe der Elektronen in die Flüssigmetallanode ist es möglich, die Dicke des Anodenmodul im Fokusbereich in einem gewissen Bereich zu variieren. Dieser Bereich wird stark dadurch
20 begrenzt, dass die produzierten Röntgenstrahlen noch quer durch das gesamte Flüssigmetall (je nach Winkel, unter dem das Röntgenstrahlenaustrittsfenster angeordnet ist, ist dieser Weg länger oder kürzer) hindurch treten muss. Eine zu große Dicke ist nicht möglich, da die Röntgenstrahlausbeute übermäßig durch Selbstabsorption im Flüssigmetall verringert würde.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Anodenmodul im Fokusbereich einen

30 Einschnürkanal in Richtung des einfallenden Elektronenstrahls aufweist und außerhalb des Fokusbereichs eine Dicke von 5 bis 10 mm, bevorzugt von 8 mm, hat. Dadurch ist es möglich, dass die oben ausgeführten sehr geringen Maße lediglich im Anodenmodul, um den Fokusbereich herum, eingehalten werden
35 müssen und die gesamte andere Leitung einen erheblich größeren Querschnitt aufweisen kann. Somit können billigere

Pumpen zur Umwälzung des Flüssigmetalls verwendet werden und die Flüssigmetallanode wird dadurch bedeutend preiswerter.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht
5 vor, dass der Fokusbereich parallel zur YZ-Ebene verläuft, die senkrecht auf die Flussrichtung des Flüssigmetalls steht. Damit wird beispielsweise bei einem zylindermantelförmig ausgebildeten Elektroneneintrittsfenster dafür gesorgt, dass der Fokusbereich im Wesentlichen auf einer Geraden verläuft
10 und somit nicht unterschiedlich lange Wege durch die Flüssigmetallanode gegeben sind. Aufgrund der gegebenen Definition der YZ-Ebene verläuft die X-Achse entlang der Flussrichtung des Flüssigmetalls. Die Y-Achse ist dabei parallel zur Achse des zylinderförmigen
15 Elektroneneintrittsfensters ausgerichtet und die Z-Achse entlang eines Radius des zylinderförmigen Elektroneneintrittsfensters.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht
20 vor, dass der Einfallswinkel zwischen der Einfallrichtung des Elektronenstrahls und der Z-Achse zwischen 5° und 65°, bevorzugt 50°, beträgt. Dadurch wird erreicht, dass der Fokusbereich bei gleichen Elektronenstrahlabmessungen größer wird, da die projizierte Fläche größer ist. Der tatsächliche Fokusbereich, der der Auftrefffläche der Elektronen entspricht, wird dadurch vergrößert. Dies führt dazu, dass die entstehende Wärme besser abgeführt wird und somit höhere Leistungen eingestrahlt werden können.

30 Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Einfallswinkel, der Anodenwinkel und der Austrittswinkel alle in der YZ-Ebene liegen. Dadurch wird eine hervorragende Ausbeute hinsichtlich der erzeugten Röntgenstrahlen im Verhältnis zu den einfallenden Elektronen
35 erreicht.

Darüber hinaus wird die Aufgabe auch von einem Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einen beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen emittierenden Flüssigmetallanode, die ein 5 Anodenmodul gemäß einer der vorstehend beschriebenen Ausgestaltungen aufweist, gelöst.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sind anhand 10 des in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines schematisch dargestellten Ausschnitts aus einer erfindungsgemäßen Leitung um den Fokusbereich 15 herum,

Fig. 2 einen Querschnitt durch das Anodenmodul der Fig. 1 entlang der XZ-Ebene,

20 Fig. 3 einen Ausschnitt eines Elektroneneintrittsfensters des Anodenmoduls aus den Figuren 1 und 2 mit den interessierenden Winkeln und

Fig. 4 ein Diagramm zur vorwärts gerichteten Emission von Röntgenbremsstrahlung.

Wie oben schon ausgeführt, ist die Winkelverteilung der erzeugten Röntgenbremsstrahlung nicht isotrop sondern in Richtung der Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 30 ausgerichtet. Diese Anisotropie ist umso ausgeprägter, je hochenergetischer die Elektronen werden. Bei einer Elektronenenergie von $E_0 = 500$ keV wird das Maximum der Bremsstrahlung unter einem Winkel von ungefähr 15° zur Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 emittiert. In Fig. 35 2 wird das Verhältnis der Röntgenstrahlausbeute unter 15° zur Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 zur Röntgenstrahlausbeute unter 90° zur Elektronenflugrichtung 5

des Elektronenstrahls 6 in Abhängigkeit der relativen Photonenergie dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass es sich hierbei ungefähr um einen Faktor 35 handelt, um den die Emission von Röntgenstrahlung unter einem Austrittswinkel Θ

5 von 15° höher ist als diejenige unter 90° . Der Faktor wird umso höher, je näher man an den „Spitzenbereich“ des Spektrums kommt, in dem die Photonenergie ungefähr gleich groß ist wie die Elektronenergie.

10 Aufgrund dieses Verhältnisses ist in den Figuren 1 und 2 ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel für ein Anodenmodul 1 für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle dargestellt, bei der in Fokusbereich 2 ein Elektroneneintrittsfenster 3 und diesem gegenüberliegend ein Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4

15 ausgebildet sind. Dieses Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 ist so angeordnet, dass unter dem oben angegebenen Austrittswinkel Θ der Röntgenstrahlen 7 von 15° gegenüber der Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 angeordnet. Im Querschnitt der Figur 2 ist zu erkennen, dass sowohl der

20 einfallende Elektronenstrahl 6 als auch der austretende Röntgenstrahl 7 in der YZ-Ebene verlaufen. Hier ist als Röntgenstrahl 7 jedoch nur der Zentralstrahl dargestellt. Dagegen erkennt man in Figur 1 sehr gut, dass es sich um einen divergierenden Röntgenstrahl 7 handelt, der jedoch keinen kreisförmigen Querschnitt aufweist sondern eine unterschiedliche Breite B und Höhe H hat. In der Darstellung ist der Querschnitt rechteckig dargestellt. Dies dient lediglich zur einfacheren Anschauung. Der Querschnitt ist in Realität eher elliptisch aufgrund der physikalischen und

30 mathematischen Gegebenheiten bei der Erzeugung der Röntgenstrahlen 7 im Anodenmodul 1. Die Breite B liegt ungefähr in einem Winkelbereich von $\pm 20^\circ$ um den Zentralstrahl der Röntgenstrahlen 7. Dagegen liegt die Höhe H lediglich in einem Winkelbereich von ca. $\pm 5^\circ$ um den Zentralstrahl. Somit

35 ergibt sich ein Verhältnis zwischen der Breite B und der Höhe H von ca. 4. Dieses Verhältnis hängt jedoch wieder stark davon ab, welche Energie der einfallende Elektronenstrahl 6

hat, welche Materialen für das Elektroneneintrittsfenster 3, das Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 verwendet werden sowie davon, welches Flüssigmetall 10 verwendet wird. Außerdem spielt es auch eine starke Rolle, unter welchem

5 Einfallswinkel α der Elektronenstrahl 6 auf das Elektroneneintrittsfenster 3 fällt.

Das Anodenmodul 1 muss insbesondere im Fokusbereich 2 einige geometrische Anforderungen erfüllen, damit durch das

10 Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 ein möglichst intensiver Röntgenstrahl 7 austritt. Diese geometrischen Voraussetzungen hängen stark von den verwendeten Materialien – beispielsweise für das Elektroneneintrittsfenster 3, das Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4, das verwendete

15 Flüssigmetall – sowie von der Energie des Elektronenstrahls 6 ab.

Die Dicke des Elektroneneintrittsfensters 3 kann aus der Thomson-Whiddington-Gleichung hergeleitet werden. Diese

20 lautet

$$x = \frac{(E_0^2 - E^2)}{b\rho}$$

E_0 ist die Elektronenenergie und x die beabsichtigte Reichweite, die zur Reduzierung der mittleren Elektronenenergie auf die Energie E nötig ist. ρ ist der Wert der Dichte des verwendeten Materials für das Elektroneneintrittsfenster 3. Die Bezeichnung b ist die Thomson-Whiddington-Konstante, die für das im vorliegenden

30 Fall verwendete Elektroneneintrittsfenster 3 aus Wolfram einen Wert von $8,5 \times 10^4 \text{ keV}^2 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ hat. Daraus ergibt sich für ρ ein Wert von $0,27 \text{ kg m}^{-2}$. Für den Fall, dass nur 5 % der Elektronenenergie im Elektroneneintrittsfenster 3 verloren werden soll, ergibt sich für dieses eine Dicke von

35 15 μm .

Das Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 ist im Fokusbereich 2 an der dem Elektroneneintrittsfenster 3 entgegengesetzten Fläche des Anodenmoduls 1 angeordnet. Im vorliegenden Fall wurden als Eckdaten eine maximale Schwächung von 10 % der in 5 der Flüssigmetallanode erzeugten Röntgenstrahlung bei einer mittleren Energie von 250 keV vorgegeben. Damit ergibt sich für ein Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 aus Stahl eine Dicke von 250 μm .

10 Im Fokusbereich 2 ist die Leitung 11 in Form^o des Anodenmoduls 1 gegenüber dem Rest der Leitung 11 stark eingeschnürt, so dass ein Einschnürkanal 8 ausgebildet ist. Dieser Einschnürkanal 8 muss einen Kompromiss zwischen zwei konkurrierenden Faktoren erfüllen. Auf der einen Seite muss 15 eine lange Weglänge der Elektronen in dem Flüssigmetall 10 gegeben sein, damit ein Maximum an Umwandlung der Elektronenenergie in Röntgenbremsstrahlung erfolgen kann. Dies entspricht einer großen Kanalhöhe parallel zur Einfallsrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 und senkrecht zur 20 Flussrichtung 9 des Flüssigmetalls 10. Auf der anderen Seite muss die Kanalhöhe so gering wie möglich sein, damit die produzierten Röntgenstrahlen 7 nicht übermäßig durch Selbstabsorption im Flüssigmetall 10 gedämpft werden. Wenn man die Thomson-Whiddington-Gleichung auf das verwendete Flüssigmetall 10 (BiPbInSn) anwendet, erhält man für eine Kanalhöhe von ca. 200 μm einen Verlust von 33 % der Elektronenenergie. Da eine größere Kanalhöhe nur zur Produktion relativ niederenergetischer Röntgenstrahlen 7 führt und gleichzeitig die Selbstabsorption der 30 Röntgenstrahlen 7 im Flüssigmetall 10 anwächst, ist der vorgenannte Wert für die Kanalhöhe ein guter Kompromiss zwischen den beiden oben genannten Erfordernissen.

35 Die Elektronendiffusion über eine Tiefe von 200 μm ist bei Weitem der wichtigste Prozess, der zum thermischen Transport der im Fokusbereich 2 entstandenen Wärme aufgrund der Wechselwirkung zwischen dem Elektronenstrahl 6 und dem

Flüssigmetall 10 führt. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 25 m s^{-1} des Flüssigmetalls 10 ergibt sich aus dem Produkt der Kanalhöhe ($200 \mu\text{m}$), der Fokuslänge (hier 5 mm) und der Flussgeschwindigkeit (25 m s^{-1}) das Volumen des

5 Flüssigmetalls 10 pro Sekunde, in dem der Elektronenstrahl 6 seine Energie abgibt. Dadurch erhält man einen Materialfluss von $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Unter Verwendung von BiPbInSn als Flüssigmetall 10 erhält man aufgrund der Wärmekapazität ($c_p = 0,263 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bei 65°C) und einer Dichte von $\rho = 8,22 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ bei 65°C , dass die Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre 10 eine Gleichstromleistungsaufnahme von über 25 kW aufweist, wenn eine maximale Temperaturerhöhung von 500°K zulässig ist. Es ergibt sich dann eine effektive Fokusgröße von $1 \text{ mm} \times 1,3 \text{ mm}$.

15

In Figur 3 sind die einzelnen auftretenden Winkel dargestellt. Es ist ein Ausschnitt aus dem Elektroneneintrittsfenster 3 gezeigt. Die Flussrichtung 9 des Flüssigmetalls 10 verläuft entlang der X-Achse. Der entlang

20 der Einfallsrichtung 5 einfallende Elektronenstrahl 6 liegt in der YZ-Ebene. Er ist um den Einfallswinkel α gegen die Z-Achse geneigt. Der aus dem Anodenmodul 1 entlang der Austrittsrichtung 12 austretende Röntgenstrahl 7 verläuft ebenfalls in der YZ-Ebene. Er ist jedoch nicht parallel zum Einfallswinkel α sondern um den Austrittswinkel θ auf die Y-Achse hin geneigt. Zwischen der Y-Achse und dem Röntgenstrahl 7 ist der Anodenwinkel β ausgebildet. Wenn man den oben schon ausgeführten Wert für den Austrittswinkel θ der Röntgenstrahlung 7 von 15° betrachtet und einen Anodenwinkel

30 β von 25° annimmt, so ergibt sich anhand einfacher geometrischer Überlegungen, dass der Einfallswinkel α des Elektronenstrahls 6 einen Wert von 50° aufweisen muss. Möchte man den erzeugten Röntgenstrahl 7 unter einem anderen Anodenwinkel β betrachten, so ergibt sich bei konstant

35 gehaltenem Austrittswinkel θ der entsprechende Einfallswinkel α aus der Gleichung $\alpha + \beta + \theta = 90^\circ$. Natürlich ist es auch möglich, den Austrittswinkel θ zu ändern, was sich sofort

stark auf die Röntgenstrahlausbeute (siehe Figur 4) auswirkt. Je nachdem, unter welchem Anodenwinkel β man den Röntgenstrahl 7 betrachtet, ergibt sich dann der Einfallswinkel α .

5

Mit einer Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre die ein dargestelltes erfindungsgemäßes Anodenmodul 1 aufweist, erhält man eine erhöhte Emission von hochenergetischen 10 Photonen und eine hohe Gleichstromleistungsaufnahme mit einem gleichzeitig kleinen Fokusbereich 2. Eine solche Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre wird als Bestandteil eines erfindungsgemäßen Röntgenstrahlers mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen verwendet, wobei beim Auftreffen 15 der Elektronen die gewünschten Röntgenstrahlen 7 produziert werden. Sie ist sehr hilfreich in Zoll- und Sicherheitsanwendungen inklusive CT-gestützter Gepäcküberwachung. Darauf hinaus kann sie auch sehr effektiv 20 in der zerstörungsfreien Analyse von Werkstoffen oder der Überprüfung von Gussteilen, beispielsweise bezüglich Schweißnähten von Felgen, verwendet werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Anodenmodul
- 2 Fokusbereich
- 3 Elektroneneintrittfenster
- 4 Röntgenstrahlenaustrittsfenster
- 5 Einfallsrichtung
- 6 Elektronenstrahl
- 7 Röntgenstrahl
- 8 Einschnürkanal
- 9 Flussrichtung
- 10 Flüssigmetall
- 11 Leitung
- 12 Austrittsrichtung
- B Breite des Röntgenstrahls
- H Höhe des Röntgenstrahls
- α Einfallswinkel des Elektronenstrahls
- β Anodenwinkel
- θ Austrittswinkel der Röntgenstrahlung

Patentansprüche

1. Anodenmodul (1) für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle, die im Fokusbereich (2) ein Elektroneneintrittsfenster (3) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass dem Elektroneneintrittsfenster (3) ein Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) gegenüberliegt und der Austrittswinkel (Θ) der Röntgenstrahlen (7) zwischen einem durch das Elektroneneintrittsfenster (3) entlang der Einfallsrichtung (5) eintretenden Elektronenstrahl (6) und den durch das Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) austretenden Röntgenstrahlen (7) zwischen 5° und 50° , insbesondere 15° , beträgt.
2. Anodenmodul (1) nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektronenaustrittsfenster (3) eine Metallfolie, insbesondere aus Wolfram, mit einer Dicke von 5 bis $30\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere von $15\text{ }\mu\text{m}$, oder ein Diamantfilm, ein keramischen Werkstoff oder ein Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, ist.
3. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) ein Stahlblech mit einer Dicke von 100 bis $400\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere von $250\text{ }\mu\text{m}$, ist.
4. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es im Fokusbereich (2) eine Dicke in Richtung des einfallenden Elektronenstrahls (6) von 100 bis $350\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere von $200\text{ }\mu\text{m}$, hat.

5. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es im Fokusbereich (2) einen Einschnürkanal (8) in Richtung des einfallenden Elektronenstrahls (6) aufweist und außerhalb des Fokusbereichs (2) eine Dicke von 5 bis 10 mm, bevorzugt 8 mm, hat.
6. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektroneneintrittsfenster (3) senkrecht zur Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) konvex gebogen ist, insbesondere wie ein Teil eines Zylindermantels.
7. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) senkrecht zur Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) konkav gebogen ist, insbesondere wie ein Teil eines Zylindermantels.
8. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokuslänge 2 bis 8 mm, insbesondere 5 mm, beträgt.
9. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die effektive Fokusgröße 1 mm x 1,3 mm beträgt.
10. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokusbereich (2) parallel zur YZ-Ebene verläuft, die senkrecht auf die Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) steht.
11. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfallswinkel (α) zwischen der Einfallrichtung (5) des

Elektronenstrahls (6) und der Z-Achse zwischen 5° und 65°, bevorzugt 50°, beträgt.

12. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodenwinkel (β) zwischen der Austrittsrichtung (12) des Röntgenstrahls (7) und der Y-Achse zwischen 10° und 50°, bevorzugt 20°, beträgt.
13. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfallswinkel (α), der Anodenwinkel (β) und der Austrittswinkel (Θ) alle in der YZ-Ebene liegen.
14. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis zwischen der Breite (B) des Röntgenstrahls (7) und der Höhe (H) des Röntgenstrahls (7) in der XZ-Ebene zwischen 2 und 6, bevorzugt bei 4, liegt.
15. Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einer beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen (7) emittierenden Flüssigmetallanode, die ein Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche aufweist.

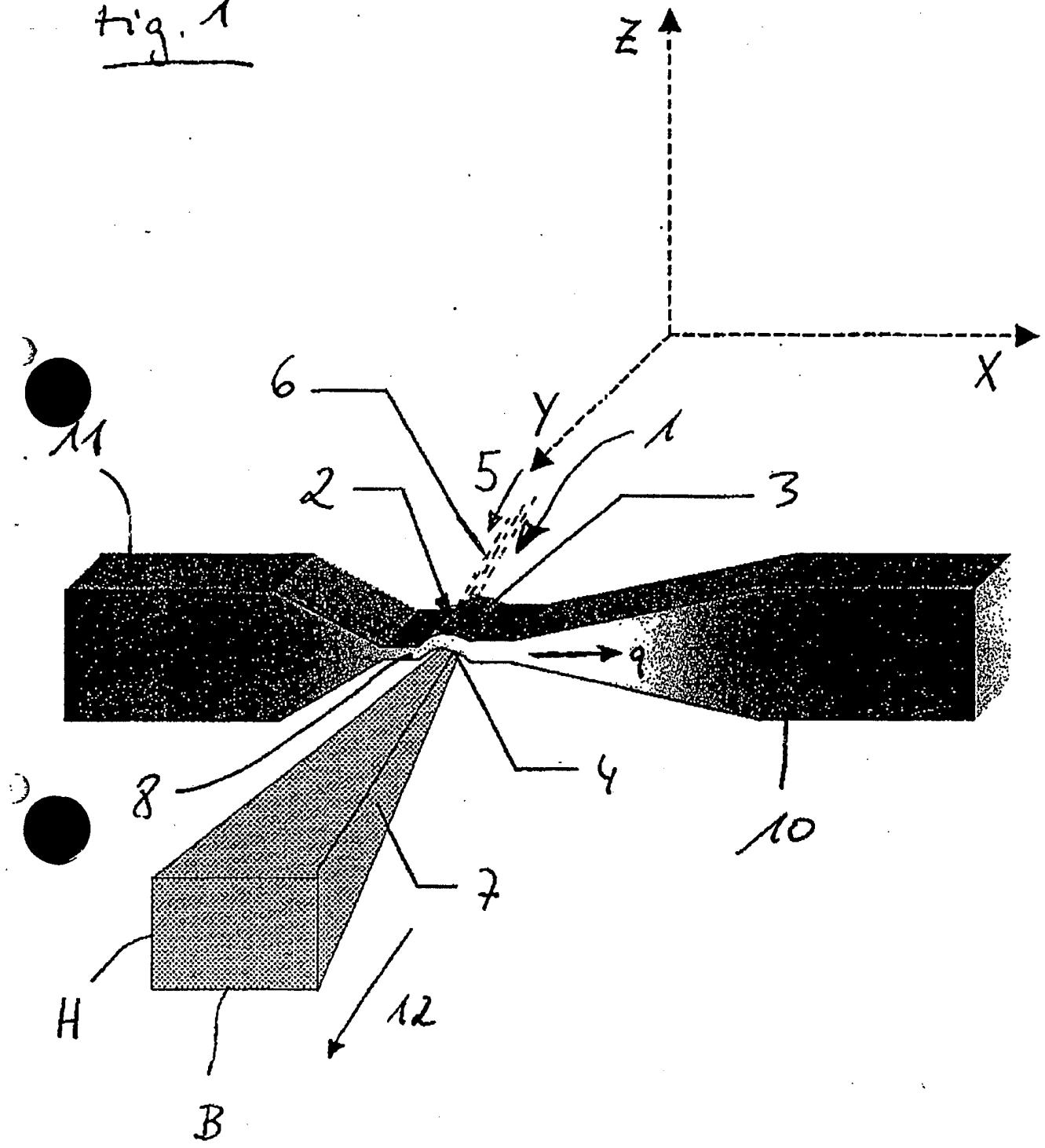
Zusammenfassung

Die Erfindung befasst sich mit einem Anodenmodul 1 für eine
5 Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle, die im Fokusbereich 2 ein
Elektroneneintrittsfenster 3 aufweist.
Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Anodenmodul 1 dem
10 Elektroneneintrittsfenster 3 ein
Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 gegenüberliegt und der
Austrittswinkel Θ der Röntgenstrahlen 7 zwischen einem durch
15 das Elektroneneintrittsfenster 3 entlang der Einfallsrichtung
5 eintretenden Elektronenstrahl 6 und den durch das
Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 austretenden
Röntgenstrahlen 7 zwischen 5° und 50° , insbesondere 15° ,
beträgt.

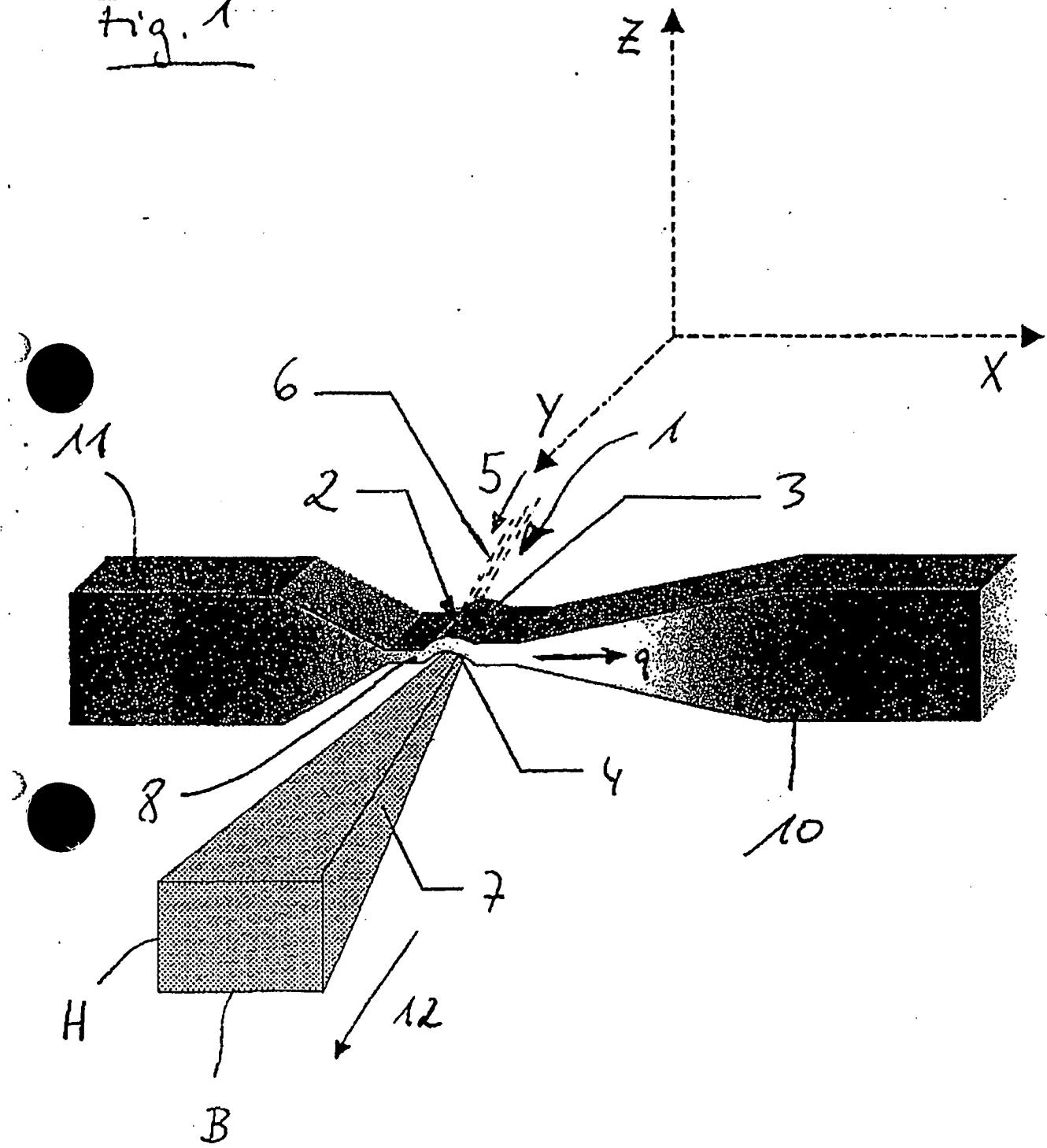
Die Erfindung befasst sich darüber hinaus mit einem
Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von
Elektronen und einem beim Auftreffen der Elektronen
20 Röntgenstrahlen 7 emittierenden Flüssigmetallanode, die ein
Anodenmodul 1 mit den oben genannten Merkmalen aufweist.

(Fig. 1)

Fig. 1



30.03.2004

Fig. 1

30.03.2004

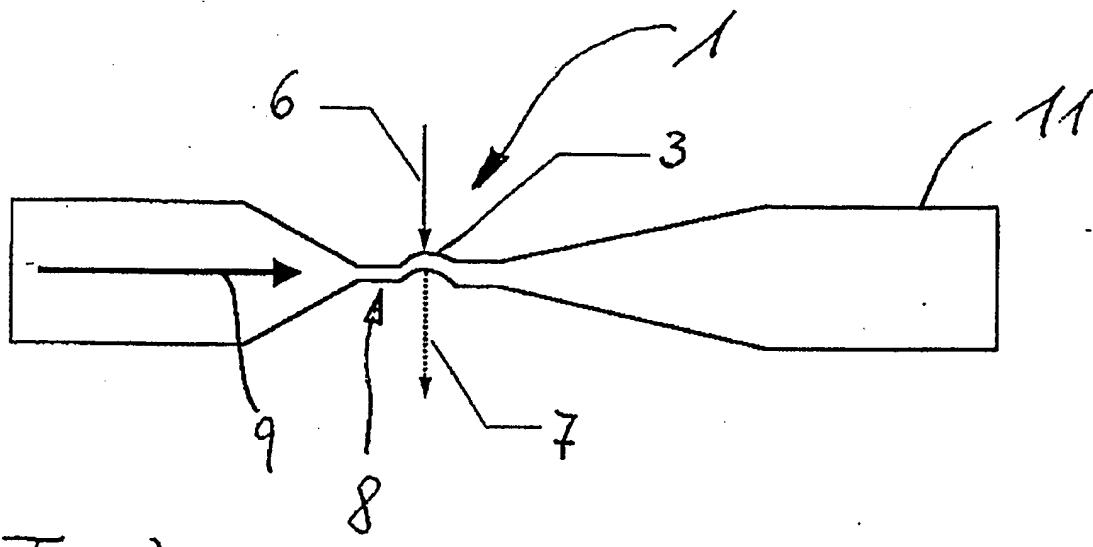


Fig. 2

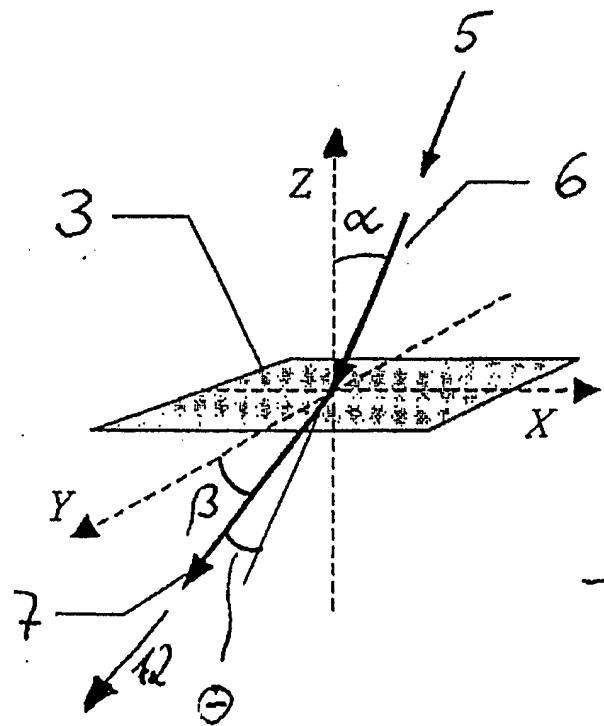


Fig. 3

30.03.2004

Fig. 4